

B0

51

Int. Cl. 2:

G 02 B 5/14

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

DE 27 35 079 A 1

Erfindungsgenossenschaft

11

# Offenlegungsschrift 27 35 079

21

Aktenzeichen:

P 27 35 079.4-51

22

Anmeldetag:

4. 8. 77

23

Offenlegungstag:

2. 3. 78

31

Unionspriorität:

22 23 31

30. 8. 76 V.St.v.Amerika 718632

54

Bezeichnung:

Glasfaser-Wellenleiter

71

Anmelder:

Hughes Aircraft Co., Culver City, Calif. (V.St.A.)

74

Vertreter:

Kohler, R., Dipl.-Phys.; Schwindling, H., Dipl.-Phys.; Späth, S., Dipl.-Ing.;  
Rüdel, D., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.; Pat.-Anwälte, 7000 Stuttgart

72

Erfinder:

Pinnow, Douglas A., Pacific Palisades; Knauer, Wolfgang, Malibu;  
Calif. (V.St.A.)

Prüfungsantrag gem. § 28b PatG ist gestellt

DE 27 35 079 A 1

Patentansprüche

1. Flexibler Glasfaser-Wellenleiter zur Übertragung optischer elektromagnetischer Strahlung, mit einem aus Glas bestehenden Kern und einem den Kern konzentrisch umgebenden, ebenfalls aus Glas bestehenden Mantel, der wenigstens eine Schicht aufweist, deren Brechungsindex für die zu übertragende Strahlung um mindestens 0,1% kleiner ist als der kleinste Brechungsindex des Kernes für diese Strahlung, dadurch gekennzeichnet, daß der Mantel (12) von einer dessen Oberfläche hermetisch abdichtenden Schicht (13) aus einem geschmeidigen Metall umgeben ist, wobei der Mantel (12) zwischen dem Kern (11) und der metallischen Schicht (13) eine Dicke zwischen 10 und 100  $\mu\text{m}$  und die metallische Schicht (13) eine Dicke zwischen 5 und 100  $\mu\text{m}$  aufweist, der Außendurchmesser des gesamten Wellenleiters jedoch nicht mehr als 300  $\mu\text{m}$  beträgt.
2. Glasfaser-Wellenleiter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Mantel (12) eine Dicke zwischen 15 und 30  $\mu\text{m}$  aufweist.
3. Glasfaser-Wellenleiter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die metallische Schicht (13) eine Dicke zwischen 10 und 50  $\mu\text{m}$  aufweist.
4. Glasfaser-Wellenleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die metallische Schicht (13) aus Antimon, Wismut, Cadmium, Silber, Gold, Zink, Blei, Zinn, Aluminium oder einer Legierung von zwei oder mehr dieser Metalle besteht.

809809/0720

./.

5. Glasfaser-Wellenleiter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die metallische Schicht (13) aus Aluminium besteht.
6. Glasfaser-Wellenleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß seine Zugfestigkeit bei einer Länge von 1 km oder mehr mindestens  $1400 \text{ N/mm}^2$  beträgt.
7. Glasfaser-Wellenleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrische Widerstand der metallischen Schicht (13) einen Wert von  $3,3 \text{ Ohm/m}$  nicht überschreitet.
8. Glasfaser-Wellenleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die metallische Schicht (13) von einer aus Kunststoff bestehenden Schutzschicht (14) umgeben ist.
9. Glasfaser-Wellenleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er an wenigstens einer Stelle mit einer Einrichtung (20) zum Zuführen eines optischen Signals zu seinem Kern (11) und an wenigstens einer davon entfernten anderen Stelle mit einer Einrichtung (21) zum Empfang des vom Kern (11) übertragenen optischen Signals und außerdem an wenigstens einer Stelle mit einer Einrichtung (24) zum Zuführen eines elektrischen Signals zu seiner metallischen Schicht (13) und an wenigstens einer davon entfernten anderen Stelle mit einer Einrichtung (25) zum Empfang des von der metallischen Schicht (13) übertragenen elektrischen Signals versehen ist.

10. Verfahren zur Herstellung eines Glasfaser-Wellenleiters nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die metallische Schicht (13) während des Ziehens der Glasfaser auf den Mantel (12) aufgebracht wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Glasfaser zum Aufbringen der metallischen Schicht (13) durch ein Bad des geschmolzenen Metalls gezogen wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Glasfaser beim Eintritt in das Bad des geschmolzenen Metalls auf einer unter dem Schmelzpunkt des Metalls liegenden Temperatur gehalten wird.

2735079

- 4 -

Anmelderin:

Hughes Aircraft Company  
Centinela Avenue and  
Teale Street  
Culver City, Calif., V.St.A.

Stuttgart, den 1. August 1977  
P 3400 S/kg

Vertreter:

Kohler - Schwindling - Späth  
Patentanwälte  
Hohentwielstraße 41  
7000 Stuttgart 1

Glasfaser-Wellenleiter

Die Erfindung betrifft einen flexiblen Glasfaser-Wellenleiter zur Übertragung optischer elektromagnetischer Strahlung, mit einem aus Glas bestehenden Kern und einem den Kern konzentrisch umgebenden, ebenfalls aus Glas bestehenden Mantel, der wenigstens eine Schicht aufweist, deren Brechungsindex für die zu übertragende Strahlung um mindestens 0,1% kleiner ist als der kleinste Brechungsindex des Kerns für diese Strahlung.

809809/0720

./.

Die Entwicklung verlustarmer optischer Glasfaser-Wellenleiter ist beispielsweise in den Lehrbüchern von N. S. Kapany: "Fiber Optics Principles and Applications", Academic Press, New York, 1967, und von M. K. Barnoski: "Fundamentals of Optical Fiber Communication Systems", Academic Press, New York, 1976, beschrieben. Es sei bemerkt, daß die grundlegenden Arbeiten von Kapany und Hopkins am Imperial College in London und von Van Heel in Holland in den frühen 50er Jahren die Basis für die Übertragung von Bildern mittels ausgerichteter Bündel flexibler Glasfasern gelegt haben. Hieran schloß sich die Entwicklung flexibler Faserskope und Endoskope zur Beobachtung entfernter Orte an. Zu Beginn der 60er Jahre wurden optische Fasern in einer Vielzahl verschiedener Bereiche eingesetzt und es war die Fähigkeit lichtleitender Glasfasern als Kommunikations-Medium erkannt worden. Das Problem bei den verfügbaren Glasfasern bestand in einer übermäßigen optischen Dämpfung, die in der Größenordnung von 1000 db und mehr pro Kilometer lag.

Ende 1970 berichteten die Corning Glass Works als erste über eine Glasfaser mit einer Dämpfung von nur 20 db/km. Diese verlustarmen Fasern hatten einen Mantel aus reinem Siliciumoxid und einen Kern, der aus mit einem höheren Brechungsindex aufweisenden Materialien, beispielsweise Titan oder Germanium, dotierten Siliciumoxid bestand. Die Dotierung hatte den Zweck, den Kern der Faser mit einem etwas höheren Brechungsindex zu versehen, damit das Licht in Längsrichtung der Faser durch die innere

./.

Totalreflexion an der Grenzfläche zwischen Kern und Mantel geleitet wird. Seitdem wurden weitere verlustarme Glasfasern entwickelt, deren Verluste bis auf 5 db/km gesenkt werden konnten, jedoch haben alle diese Glasfasern eine Außenfläche aus reinem oder fast reinem Siliciumoxid. Der gegenwärtige Erfolg solcher Fasern kann zu einem erheblichen Teil den weit entwickelten Methoden zur Herstellung synthetischen Siliciumoxid-Glases höchster Reinheit zugeschrieben werden.

Der gegenwärtige Stand der Technik optischer Glasfaser-Wellenleiter aus dotiertem Siliciumoxid ist so weit vorgeschritten, daß die Herstellung verlustarmer Wellenleiter bereits Routine geworden ist. Die wesentlichen Schwierigkeiten, von denen Erfolg oder Mißerfolg dieser aufkommenden neuen Technik abhängen kann, liegen in der Herstellung einer Kabelstruktur, in der das Siliciumoxid gegen schädliche Einflüsse geschützt wird, die ein Brechen der Faser verursachen könnten. Die Zerbrechlichkeit von Glasfasern ist bekannt und bildet den Hauptgrund dafür, daß bei einigen frühen Versuchsanlagen Glasfaserbündel anstatt einzelner Glasfasern in den optischen Übertragungsstrecken benutzt wurden. Bei Verwendung solcher Bündel konnte ein gewisser Anteil der Glasfasern des Bündels unter den Beanspruchungen der Installation und des fortlaufenden Betriebes brechen, ohne einen Ausfall der Übertragungsstrecke zu bewirken. Obwohl diese Faserbündel sehr gut dazu geeignet sind, die Betriebsfähigkeit solcher Systeme zu demonstrieren,

./.

- 4 -  
7

sind sie in keiner Weise für einen endgültigen Betrieb geeignet. Von den Corning Glass Works bei der Verkabelung erzielte Fortschritte haben ein neues Standardbündel ergeben, das aus sechs Fasersträngen besteht. Obwohl die Glasfasern sehr schwach bleiben, ist das Kabel durch den Einbau von Kelvar-Strängen in die Kunststoffhülle, welche das Kabel umgibt, verfestigt. Kelvar ist die zeichenrechtlich geschützte Bezeichnung für ein kürzlich von der Dupont Company entwickelte Polymer hoher Festigkeit.

Für viele Anwendungen ist jedoch eine Verfestigung der einzelnen Fasern erforderlich. Wenn Fasern großer Länge, nämlich in Längen von 1 km und mehr, und hoher Zugfestigkeit, nämlich von  $1400 \text{ N/mm}^2$  und mehr, zur Verfügung stünden, könnten Übertragungsstrecken mit Einzelfasern geringen Gewichts anstatt mit schwer armierten Kabeln oder Bündeln hergestellt werden.

Optische Wellenleiter der beschriebenen Art sind im einzelnen auch in den US-PSen 3 434 774, 3 778 132, 3 788 827 und 3 936 162 beschrieben. Es wurden erhebliche Anstrengungen gemacht, solche optischen Glasfaser-Wellenleiter mit organischen Stoffen zu beschichten, wie beispielsweise mit Thermoplasten und mit durch Ultraviolettstrahlung aushärtbaren Polymeren. Diese Schichten sind nur für eine kurze Zeit befriedigend und ergeben keinen hermetischen Abschluß. Letztlich lassen sie schädliche Stoffe wie Feuchtigkeit hindurch, welche die Glasoberfläche angreifen und die Faser schwächen.

./.



-3-

Aus der US-PS 3 778 132 ist die Anwendung einer äußeren Schicht bekannt, die auch eine abschirmende Funktion haben soll, um ein Übersprechen zwischen benachbarten leitungen zu verhindern. Diese Schicht besteht aus einem die übertragene Welle in hohem Maße absorbierenden Material, und zwar ebenfalls entweder aus einem Kunststoff oder aber auch aus einer aufgedampften Chromschicht. Für die Anwendung einer Kunststoffschicht gilt das vorstehend Gesagte. Die statt dessen verwendete Chromschicht ist, da sie durch Aufdampfen hergestellt wurde, notwendig sehr dünn, so daß sie weder eine Verstärkung der Faser noch einen die Glasfaser gegen äußere Einflüsse schützenden, hermetischen Abschluß bewirkt. Ferner ist das Aufbringen einer Schicht durch Aufdampfen ein sehr langsamer Vorgang, so daß das bekannte Anbringen einer Chromschicht durch Aufdampfen auf Glasfasern für die Praxis keine nennenswerte Bedeutung haben kann. Auch die US-PS 3 788 827 beschreibt das Aufdampfen einer Schicht aus Kunststoff oder einem hydrophoben Metall auf den optischen Wellenleiter nach einem Verfahren, der es erfordert, die ungeschützte Faser durch eine vakuumfeste Dichtung hindurchzuführen. Der Kontakt zwischen der Faser und der Dichtung würde die Oberfläche des Wellenleiters beschädigen und dadurch den Wellenleiter schwächen, bevor die Beschichtung aufgebracht werden könnte.

Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen verlustarmen Glasfaser-Wellenleiter zu schaffen, der in großen Längen herstellbar ist, eine hohe Zugfestigkeit aufweist und gegen äußere Einflüsse sicher

./.

809809/0720

geschützt ist, so daß er in Form einzelner Fasern verlegt und zur Nachrichten-Übertragung benutzt werden kann.

Diese Aufgabe wird nach der Erfindung dadurch gelöst, daß der Mantel von einer dessen Oberfläche hermetisch abdichtenden Schicht aus einem geschmeidigen Metall umgeben ist, wobei der Mantel zwischen dem Kern und der metallischen Schicht eine Dicke zwischen 10 und 100  $\mu\text{m}$  und die metallische Schicht eine Dicke zwischen 5 und 100  $\mu\text{m}$  aufweist, der Außendurchmesser des gesamten Wellenleiters jedoch nicht mehr als 300  $\mu\text{m}$  beträgt.

Eine Schicht aus einem geschmeidigen oder duktilen Metall mit der angegebenen Dicke bewirkt den gewünschten hermetischen Abschluß der Oberfläche der Glasfaser, so daß diese Oberfläche gegen schädliche Einwirkungen sicher geschützt ist. Es hat sich gezeigt, daß eine solche Schicht auch nicht die Ausbreitung optischer Strahlung durch den Wellenleiter nennenswert behindert. Dagegen kann die metallische Schicht einen ausreichend geringen Widerstand aufweisen, um selbst zur Übertragung zusätzlicher, elektrischer Signale geeignet zu sein.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Glasfaser-Wellenleiters. Das Verfahren besteht darin, daß die metallische Schicht während des Ziehens der Glasfaser auf den Mantel aufgebracht wird. Zu diesem Zweck kann die Glasfaser durch ein Bad des geschmolzenen Metalles

./.

gezogen werden. Dabei wird vorteilhaft die Glasfaser beim Eintritt in das Bad des geschmolzenen Metalls auf einer unter dem Schmelzpunkt des Metalls liegenden Temperatur gehalten. Auf diese Weise ist es möglich, die Glasfaser unmittelbar bei ihrer Herstellung mit einer ausreichend dicken Beschichtung aus einem schmiegsamen Metall zu versehen, welche den gewünschten hermetischen Abschluß und die gewünschte Verstärkung der Glasfaser bewirkt.

Verfahren zum Aufbringen von Metallschichten auf Glasfasern sind aus den US-PSen 2 928 716, 3 083 550 und 3 268 312 sowie aus den GB-PSen 982 051 und 1 038 534 bekannt. Diese Druckschriften behandeln jedoch die Beschichtung von aus einem homogenen, festen Material bestehenden Glasfasern, bei denen es sich nicht um optische Wellenleiter handelt, sondern die zur Verwendung als Bestandteil von Geweben und anderen Werkstoffen bestimmt sind. Auch die Technik der Beschichtung von Glasfasern mit Metallen im geschmolzenen Zustand, während das Glas gezogen wird und sich ebenfalls im geschmolzenen Zustand befinden, ist aus diesen Druckschriften bekannt. Diese Technik wurde jedoch bisher nicht zur Herstellung optischer Wellenleiter verwendet, weil die Auffassung bestand, daß die resultierende Beschichtung, welche beträchtlich dicker ist als die normalerweise durch Aufdampfen oder Zerstäubung erzielbaren Schichten, so dick sein würde, daß sie die optische Transparenz des Wellenleiters beeinträchtigen und eine hohe Dämpfung zur Folge haben würden. Die Erfindung hat gezeigt, daß dies nicht der Fall ist.

./.

Die Erfindung macht also von einer Beschichtungstechnik Gebrauch, bei der sich Metall an der Oberfläche der Faser abscheidet, während sie durch das Bad des geschmolzenen Metalles gezogen wird, um eine Schicht aus einem Metall, wie beispielsweise Aluminium, auf einen optischen Glasfaser-Wellenleiter aufzubringen, der einen Glasmantel mit einem hohen Anteil an Siliciumoxid oder aus reinem Siliciumoxid aufweist. Der gläserne Wellenleiter wird derart durch das Bad geschmolzenen Metalles gezogen, daß das Metall die Glasoberfläche noch während ihrer Bildung hermetisch abschließt, bevor es irgendeine Möglichkeit gibt, die Oberfläche durch Abrieb, Kratzer oder auf andere Weise so zu beschädigen, daß eine Schwächung der Glasfaser eintritt. Um eine übermäßige Dämpfung optischer Signale bei der Übertragung durch den resultierenden Wellenleiter auszuschließen, ist es wichtig, daß die Mantelschicht zwischen dem Kern des Wellenleiters und der Metallschicht eine Dicke im Bereich von 10 bis 100  $\mu\text{m}$  aufweist. Damit die Metallschicht die gewünschte Funktion erfüllen kann, sollte sie eine Dicke im Bereich von 5 bis 100  $\mu\text{m}$  aufweisen. Wenn diese Dicken eingehalten werden, zeigt sich, daß eine unerwartete Erhöhung der Festigkeit der Faser ohne Verlust der Flexibilität und ohne die erwartete Erhöhung der Dämpfung des Wellenleiters erzielt wird.

Die Erfindung wird im folgenden anhand des in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher beschrieben und erläutert. Die der Beschreibung und der Zeichnung zu

./.

entnehmenden Merkmale können bei anderen Ausführungsformen der Erfindung einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination Anwendung finden. Es zeigen

Fig. 1 eine perspektivische Darstellung eines Abschnittes eines metallisch beschichteten Glasfaser-Wellenleiters nach der Erfindung in stark vergrößertem Maßstab,

Fig. 2 ein Diagramm der durch die Metallschicht bewirkten zusätzlichen optischen Dämpfung als Funktion der Dicke des Mantels und

Fig. 3 das Blockschaltbild eines Systems zur Signalübertragung unter Verwendung eines Glasfaser-Wellenleiters nach der Erfindung.

Der in Fig. 1 dargestellte Glasfaser-Wellenleiter 10 besteht aus einem zentralen Kern 11, einem den Kern 11 konzentrisch umgebenden Mantel 12 aus Glas und einer metallischen Schicht oder Hülle 13, die den Mantel 12 konzentrisch umgibt. Der Kern 11 besteht vorzugsweise aus  $\text{SiO}_2$  hoher Reinheit oder aus dotiertem Siliciumoxid mit einem ersten Brechungsindex  $n_1$ . Der eine Führungsschicht bildende Mantel 12 kann aus  $\text{SiO}_2$  oder jedem anderen geeigneten Glasmaterial bestehen, das einen etwas geringeren Brechungsindex  $n_2$  aufweist. Der Kern 11 kann einen gleichförmigen Brechungsindex aufweisen oder auch aus zwei oder mehr Schichten bestehen, von denen jede folgende Schicht einen etwas kleineren Brechungsindex hat als die darauf liegende Schicht, so daß ein

809809/0720

parabolischer Gradient angenähert wird, der für mit mehreren Wellentypen arbeitenden Strukturen besonders günstig ist. Der Mantel 12 besteht gewöhnlich aus einem gleichförmigen Werkstoff, kann jedoch ebenfalls aus einem Material mit gestuftem oder verlaufendem Brechungsindex bestehen.

Die metallische Schicht 13 besteht aus einem geschmeidigen und nicht aus einem harten Metall, um die negativen Wirkungen einer Dämpfung durch Mikrobiegungen zu vermeiden. Geeignete geschmeidige Metalle sind Aluminium, Antimon, Wismut, Cadmium, Silber, Gold, Zink, Blei, Indium, Zinn sowie Legierungen dieser Metalle, wie Indium-Silber-Legierungen, Aluminium-Nickel-Legierungen und Silber-Gold-Legierungen. Die gewählten Metalle sollen in der Umgebung, in der sie eingesetzt werden sollen, eine nur geringe Korrosionsrate haben und nicht so hart sein wie beispielsweise Chrom.

Die metallische Schicht 13 ist auf die Siliciumoxid-Oberfläche des Mantels 12 des Wellenleiters 10 in solcher Weise aufgebracht, daß sie einen dichten und dauerhaften hermetischen Abschluß um die Glasfaser bildet. Diese Schicht wird auf die Glasfaser während des Ziehvorganges unmittelbar nach dem Austritt der Faser aus dem Ofen aufgebracht. Es ist wichtig, daß das Aufbringen der metallischen Schicht erfolgt, bevor eine Möglichkeit besteht, daß die Faser von einer Spule oder Trommel an der Oberfläche beschädigt werden kann, auf welche die beschichtete Glasfaser aufgewickelt wird,

./.

809809/0720

und bevor die Faser so weit abkühlt, daß sich an ihrer Oberfläche Feuchtigkeit aus der Umgebung abscheiden kann.

Die Beschichtung mit dem Metall kann beispielsweise dadurch erfolgen, daß der Glasfaser-Wellenleiter durch eine Beschichtungswanne geleitet wird, welche das auf der Glasfaser abzuschneidende geschmolzene Metall bei einer Temperatur enthält, die etwas über dem Schmelzpunkt liegt. Die Wanne kann in ihrem Boden ein kleines Loch aufweisen, das groß genug ist, um die Glasfaser hindurchzuleiten, das andererseits jedoch so klein ist, daß die Oberflächenspannung des geschmolzenen Metalls ein Ausfließen verhindert. Während die Glasfaser die Wanne durchläuft, friert auf der Oberfläche des Glases eine dünne Metallschicht aus.

Die Bedingungen für die Bildung einer kräftigen, anhaftenden Metallschicht auf der Faseroberfläche erfordern, daß die Temperatur des Metallbades, durch welches die Glasfaser geleitet wird, etwas höher liegt als der Schmelzpunkt, während die Temperatur der Glasfaser etwas unterhalb dieses Schmelzpunktes liegen muß. Die Dicke der Metallschicht A (Fig. 1) wird durch Einstellen der Ziehgeschwindigkeit der Faser und der Temperaturdifferenz zwischen der Faser und dem Metallbad bestimmt. Die Dicke A der metallischen Schicht 13 liegt typischerweise im Bereich zwischen 5 und 100  $\mu\text{m}$  und vorzugsweise im Bereich von 10 bis 50  $\mu\text{m}$ . Die maximale Dicke ist durch die Forderung bestimmt, die Flexibilität des Glasfaser-Wellenleiters nicht zu beeinträchtigen, wogegen die

./.

Mindestdicke sich aus der Forderung ergibt, einen ausreichenden Schutz gegen Abrieb zu gewährleisten.

Um diese Wirkungen zu erzielen ohne gleichzeitig die optische Durchlässigkeit des Hohlleiters infolge einer zusätzlichen optischen Dämpfung durch die metallische Schicht zu beeinträchtigen, hat es sich als erforderlich erwiesen, die Dicke B des aus Glas bestehenden Mantels in einem Bereich zwischen 10 und 100  $\mu\text{m}$  und vorzugsweise im Bereich zwischen 15 und 30  $\mu\text{m}$  zu halten. Der Radius C des Kernes 11 sollte im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  für 1-Moden-Fasern bis 100  $\mu\text{m}$  für Mehrmoden-Fasern liegen. Für die gewöhnlich verwendeten Mehrmoden-Fasern liegt der Radius C des Kernes vorzugsweise im Bereich von 15 bis 50  $\mu\text{m}$ . Dieser bevorzugte Bereich ist das Ergebnis eines Kompromisses zwischen der Forderung nach einem leichten Spleißen der Fasern, wofür dicke Kerne günstig sind, und den Kosten für Kernmaterial höchster Reinheit, die durch dünnere Kerne vermindert werden. Der Gesamtdurchmesser des Glasfaser-Wellenleiters sollte jedoch kleiner als 300 und vorzugsweise kleiner als 250  $\mu\text{m}$  sein. Dies bedeutet, daß die Summe aus dem Radius C des Kernes 11, der Dicke B des Mantels 12 und der Dicke A der metallischen Schicht 13 weniger als 125  $\mu\text{m}$  betragen sollte, damit der Glasfaser-Wellenleiter noch ausreichend flexibel ist.

Der resultierende Glasfaser-Wellenleiter 10 hat eine Zugfestigkeit von 1400 N/mm<sup>2</sup> oder mehr. Die hohe ehemalige Reißfestigkeit (ultimate strength) des Glasfasermaterials beträgt bekanntlich etwa 14 000 N/mm<sup>2</sup> und ist daher mehr als ausreichend, um den gewünschten Endwert von mehr als 1400 N/mm<sup>2</sup> zu ergeben. Der Grund dafür, daß lange Fasern

./.



bisher nicht mit Festigkeiten hergestellt worden sind, welche dieser Zugfestigkeit nahe kommen, besteht darin, daß durch Oberflächenfehler von weniger als  $1/\mu\text{m}$  Größe, die entweder durch einen leichten mechanischen Abrieb während und nach dem üblichen Faserziehvorgang oder durch chemischen Angriff durch atmosphärische Verunreinigungen, wie Feuchtigkeit, bedingt waren, die Faser geschwächt haben. Die katastrophale Wirkung von Oberflächenschäden auf die Festigkeit von Glas ist gut bekannt. Tatsächlich kann jeder, der jemals eine Glasscheibe geritzt hat, um die Bruchstelle zu definieren, den bedeutenden Einfluß solcher Oberflächenfehler auf die Festigkeit spröden Materials wie Glas ermessen.

Durch die sorgfältige Arbeit von Proctor u.a., über welche in "Proceedings of the Royal Society", Band 297A, Seite 534 (1967) berichtet wurde, wurde festgestellt, daß die ursprüngliche oder naszierende Festigkeit von  $\text{SiO}_2$ -Fasern stets sehr hoch und von den speziellen Ziehbedingungen unabhängig ist. Das Problem, eine hohe Festigkeit zu erzielen, reduziert sich daher auf das Erhalten dieser ursprünglichen Festigkeit. Die einzigen, die Faserfestigkeit reduzierenden Faktoren, die ermittelt werden konnten, sind eine mechanische Beschädigung und ein chemischer Angriff der Faseroberfläche durch Verunreinigungen. Auch eine statische Ermüdung wurde vollständig Oberflächen-Verunreinigungen zugeschrieben. Die metallische Schicht 13 bietet einen guten mechanischen Schutz und eine hermetische Abdichtung gegen Verunreinigungen. Ein zusätzlicher mechanischer Schutz und eine elektrische Isolierung kann bei Bedarf durch Aufbringen einer extrudierten Schutzschicht 14 aus Kunststoff auf die metallische Schicht 13 erzielt werden.

./.

Eine Analyse der Wirkung einer metallischen Grenzschiicht auf dem aus dotiertem Siliciumoxid bestehenden Wellenleiter, der den Kern 11 und den Glasmantel 12 umfaßt, zeigt, wie aus Fig. 2 ersichtlich, daß entgegen einer im Stand der Technik herrschenden Meinung der Einfluß auf die optische Dämpfung vernachlässigbar ist, wenn die Dicke des Mantels größer ist als etwa  $20\text{ }\mu\text{m}$ . In Fig. 2 ist die Dicke B des Mantels als normierte Manteldicke aufgetragen, nämlich als Quotient aus der körperlichen Dicke und der Wellenlänge der Energie, die von dem Wellenleiter übertragen wird. Da der Spektralbereich einer verlustarmen Übertragung bei Glasfaser-Wellenleitern im Bereich des nahen Infrarot liegt, also etwa  $0,7$  bis  $1,3\text{ }\mu\text{m}$  umfaßt, ist es zweckmäßig, als mittlere Betriebswellenlänge einen Wert von  $1\text{ }\mu\text{m}$  anzunehmen. In diesem Fall kann die Abszisse der Fig. 2, also die normalisierte Manteldicke B, unmittelbar in  $\mu\text{m}$ -Werten gelesen werden. Es ist ersichtlich, daß die zusätzliche optische Dämpfung, welche auf die metallische Beschichtung zurückzuführen ist, bei den verschiedenen analysierten Metallen unter  $2\text{ db/km}$  absinkt, wenn die Dicke des gläsernen Mantels etwa  $20\text{ }\mu\text{m}$  überschreitet. Für die meisten Anwendungen ist eine solche geringe Zunahme der Dämpfung zulässig. Wenn in speziellen Fällen eine noch geringere Zunahme der optischen Dämpfung erforderlich ist, muß die Dicke des Glasmantels gemäß den aus Fig. 2 ersichtlichen Werten erhöht werden.

Da bei den gegenwärtigen verlustarmen Glasfaser-Wellenleitern die Dicke des Mantels im Bereich von  $25\text{ }\mu\text{m}$  liegt, ergeben sich durch das Aufbringen der metallischen Schicht keine neuen Beschränkungen bezüglich der Dimensionen des Wellenleiters.

./.

Bei der Analyse, deren Resultate in Fig. 2 veranschaulicht sind, wurde eine typische Differenz zwischen den Brechungsindizes des Kernes und des Mantels von 1% angenommen. Qualitativ ist die zusätzliche optische Dämpfung auf das Eindringen abklingender Felder der geführten Wellentypen durch das Glas des Mantels in die Metallschicht bedingt, welche einen komplexen Brechungsindex aufweist. Die Größe des abklingenden Feldes, welche die Metallschicht erreicht, nimmt bei zunehmender Dicke des Mantels exponentiell ab, wie es das Diagramm zeigt.

Während die Forderung nach einem Kleinhalten der zusätzlichen Dämpfung die Mindestdicke für den Mantel 12 bestimmt, bestimmt die Forderung nach einer wirksamen Vorfestigung der Faser die Mindestdicke A der metallischen Schicht 13. Die Dicke dieser metallischen Schicht soll im Bereich von 5 bis 100  $\mu\text{m}$  und vorzugsweise im Bereich von 10 bis 50  $\mu\text{m}$  liegen. Eine metallische Schicht dieser Dicke bewirkt den notwendigen hermetischen Abschluß und eine deutliche Erhöhung der Festigkeit. Wenn das Metall eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweist, wie beispielsweise Aluminium, bildet es gleichzeitig einen guten elektrischen Leiter, da sein Widerstand dann in der Größenordnung von 3,3  $\Omega/\text{m}$  liegt. Obwohl die Hauptfunktion der metallischen Schicht darin besteht, die Festigkeit der Faser zu erhöhen, gibt es viele Anwendungen, für die es wesentlich oder wünschenswert ist, daß zusätzlich zum optischen Wellenleiter ein elektrischer Kommunikations-Kanal besteht. Ein solches System ist in Fig. 3 schematisch dargestellt.

./.

Bei der Anordnung nach Fig. 3 ist der Glasfaser-Wellenleiter 10 zwischen eine erste optische Einrichtung 20 und eine zweite optische Einrichtung 21 geschaltet. Bei diesen Einrichtungen kann es sich um eine Strahlungsquelle und/oder einen Strahlungsdetektor handeln. Die Verbindung zum optischen Wellenleiter ist durch geeignete optische Kopplungseinrichtungen 22 bzw. 23 hergestellt. Kopplungsmethoden und Methoden für einen Multiplexbetrieb oder für eine Signalübertragung mittels mehrerer Wellentypen in optischen Wellenleitern gehören zum Stand der Technik. Diese Methoden können nach Belieben eingesetzt werden.

Außer der Übertragung optischer Signale ermöglicht der Wellenleiter 10 auch die Übertragung eines oder mehrerer elektrischer Signale über die metallische Schicht 13. Wie in Fig. 3 angedeutet, ist eine erste elektrische Einrichtung 24 an einem Ende des Wellenleiters und eine zweite elektrische Einrichtung 25 am anderen Ende des Wellenleiters mit der metallischen Schicht 13 verbunden. Bei den elektrischen Einrichtungen kann es sich um Sende- und/oder Empfangseinrichtungen handeln. Beispielsweise kann das elektrische Signal ein einfacher Erregerstrom für eine Glocke oder einen sonstigen Alarmgeber sein, wenn der optische Wellenleiter dazu benutzt wird, breitbandige Videosignale zu übertragen, beispielsweise bei Bild-Telefon-Anlagen oder anderen in sich abgeschlossenen Fernseh-Einrichtungen. Bei einer anderen typischen Anwendung kann der Wellenleiter 10 von einer Rakete oder einem anderen fliegenden Körper ausgestoßen werden, um eine Verbindung zu einer Steuereinrichtung am Startplatz

./.

aufrechtzuerhalten. Solche Raketen oder Flugkörper können mit einer in ihrem Kopf angeordneten Fernseh-kamera versehen sein, damit sie sehen können, wohin sie gehen. Die Videosignale einer solchen Fernseh-kamera können einfach über den optischen Wellenleiter zum Startplatz übertragen werden, während gleichzeitig vom Startplatz der Rakete elektrische Lenksignale zugeführt werden, um den Weg der Rakete auf ein gewünschtes Ziel zu bestimmen, das gleichzeitig infolge der Übertragung des Videosignales auf dem Bildschirm eines Sichtgerätes betrachtet werden kann.

In solchen und ähnlichen Anwendungen ist sowohl die elektrische Leitfähigkeit der metallischen Schicht als auch die durch Anwenden dieser Schicht erreichte und bewahrte hohe Festigkeit des Wellenleiters von großer Bedeutung.

./.

809809/0720

2735079

- 21 -

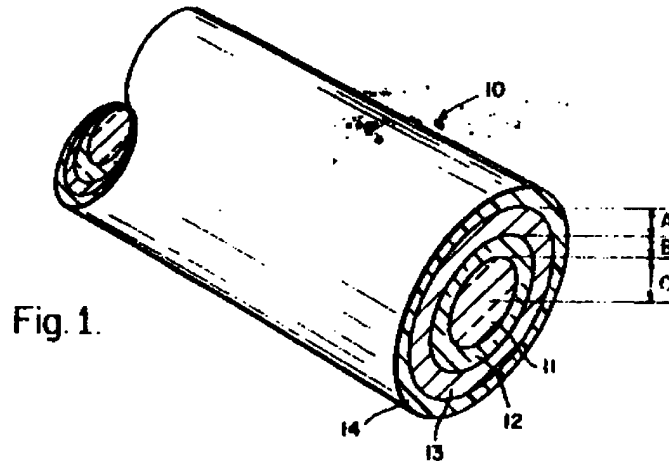


Fig. 1.

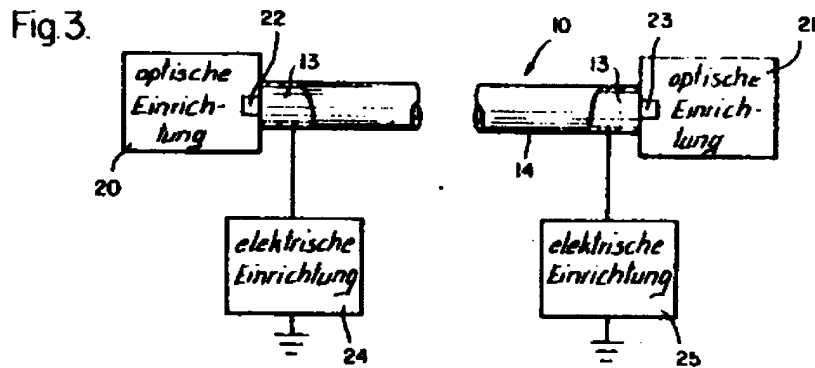


Fig. 3.

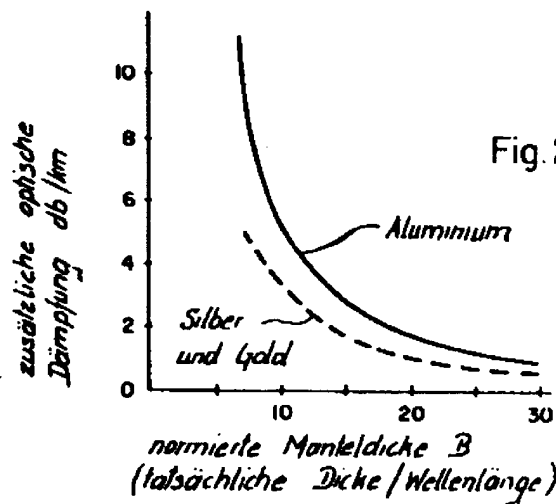


Fig. 2.

809809/0720

P 3400